

ロボット化CAM設計システム

—CAM-R について—

高島 覚

1. ま え が き

生産システムへのコンピュータの貢献はめざましいものがある。生産システムの構成は人と工作機械の直接的体系が人とコンピュータと工作機械の系からコンピュータ・ロボットと工作機械へと直接的体系，無人化体系へと移り変わりファクトリ・オートメーション(FA)，CIMS などの実現に接近しつつきている。このような状況は，コンピュータの小形化と高速化そして低価格化の成果によってもたらされたものである。

ロボットもコンピュータの発達とともに機能がハードウェアとソフトウェアとの両輪で発展してきた。そして，産業用ロボットの研究開発は機構的発達がさまざまな形で進歩した，しかし，制御はシーケンスコントロールの域をほとんど出していない。

今日ある生産システムの発展は，コンピュータがもたらした成果であり，それを評価すると同時にわれわれが理想とする多重同時制御の困難性を表現した。時に，ロボットとオペレーションズ・リサーチの相関性が見つからないまま，ロボットを含む生産システムのシステム・エンジニアリング・コンピュータ支援システム(CAM-R: Computer Assisted Design of Manufacturing System with Robot) について述べることになった。そこで，「オペレーションズ・リサーチ」誌

のロボット特集に期待されているものを考えてみた。これは，独断と偏見の期待成果として“現状把握”がある。まずOR学会諸氏，読者に何らかのインパクトを与えることを想定して，“特集発行”によるインダストリアル・エンジニアリング(IE)に対応する評価手続によって“本特集”に対する評価を確定して，オペレーションズ・リサーチ(OR)に対応する解析処理手続によって，この理論的最適解を求める。

次に，システム・エンジニアリング(SE)に対する分析，設計，構成手続によって“本特集発行システム”を構築し，先の「評価の確定」，「最適解」を考慮することによって，“本特集の発行システム”の企画，取材，編集，発行の諸要素の最適解に対する代替解あるいは時には最適解の一部を含むことによる解を総合的に検討する。

この場合，発行自体は必ずしも評価する対象にはならない。さまざまな外乱が入る読者の評価を

オペレーションズ・リサーチ誌発行期待成果

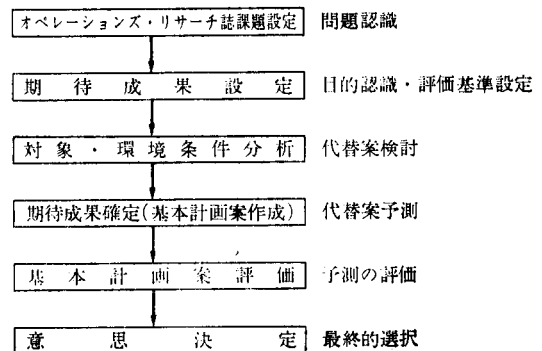


図1 オペレーションズ・リサーチ誌発行決定過程

SE: システム分析・設計・構成をする。
 IE: 方法によって人間、資材、設備の総合的システムを設計、改善、運用して結果を予測評価する。
 OR: 定量的モデルによる問題の最適解を求める。

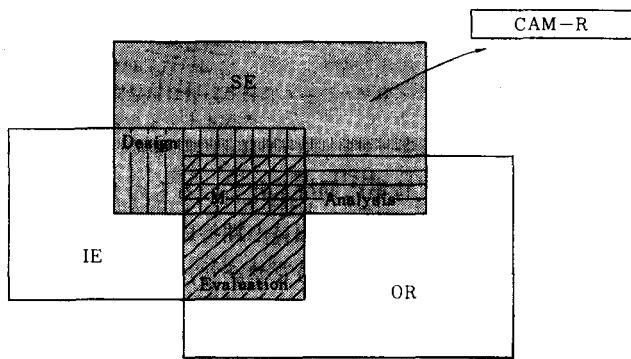


図2 管理工学の構成と SE, IE, OR の関連図

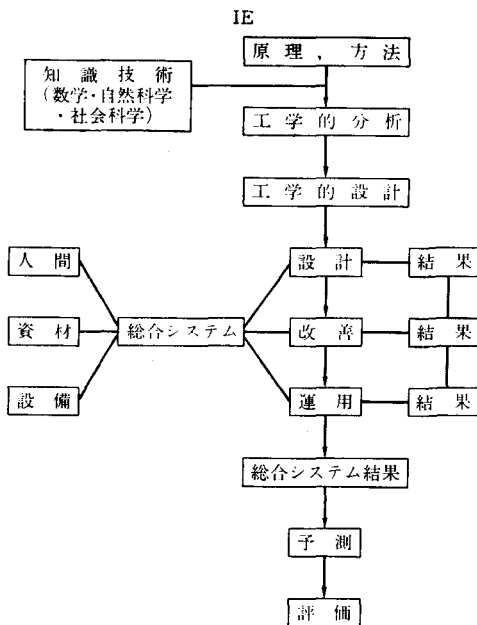


図3 インダストリアル・エンジニアリング (IE) の過程

加えて“本特集”の総合評価と各テーマへの評価が、おおむね決定することになる。企画による好評が得られ、これは大きな期待成果となる。

さて、CAM-R は広義として管理工学を基礎にして展開されるものであるが、CAM-R の調査研究を基礎研究としてコンピュータシステムの基本仕様の作成に着手し、プログラム仕様作成を経て一部コンピュータシステムのプロトタイプを作成した。これは、SEを核として、IEやORとの支援により設計した狭義のCAM-R と言える。

ここでいう管理工学(Management Science)はIEとORとSEの積集合空間として考えることにし、IE, OR, SEの諸元は必ずしも管理工学にあらずとした。生産システムの構成要素も管理工学で決定するものが最適解であることの確率は現実には小さい。すなわち、現実に対応できる解と現実化できる解とのギャップと、それぞれの最適解の代替案に対する評価には管理工学におけるどの理論体系にも含まれない要素が機械工場(生産システム)の自動化問題にはあり、管理技術と生産技術と設計技術の総合的検討と経済・社会

環境なども工学的情報として同一の場に取り込むことから検討することが今後の課題である [1] [2] [3]。

2. ロボット化生産システム

システム構築にいたるまでの各段階における設定、分析、設計、解析、評価、構成は、確率論的決定にもとづくものであり、決定理論にもとづくものは現状ではない。ロボット化生産システムに関するシステム・エンジニアリングについても同様であり理論的解に優先して経験的解がシステム

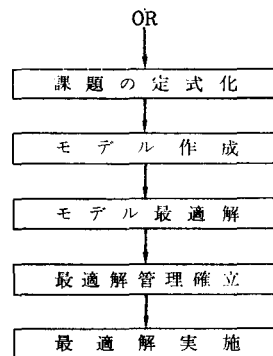


図4 オペレーションズ・リサーチ(OR)の基本過程

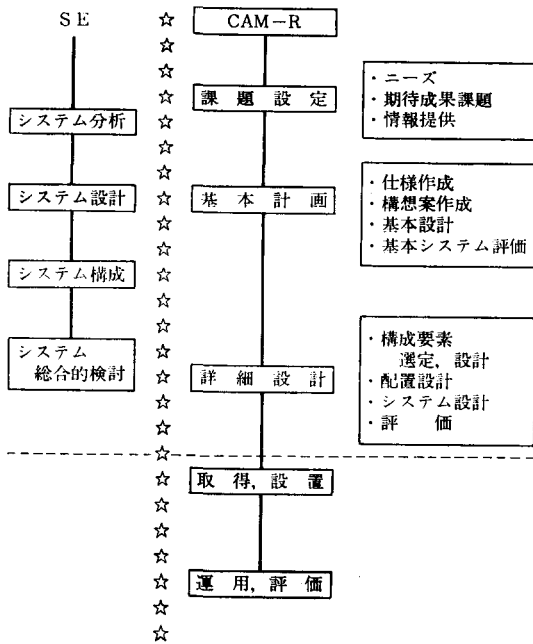


図5 システム・エンジニアリング(SE)とCAM-R基本過程

・エンジニアリング業務として認められていることでも判断できる。ここで述べるシステムは、ロボット化した生産システムではなく、生産システムをロボット化するためのシステム・エンジニアリング業務の一部（ロボットを含む生産システムの課題設定と基本計画段階）をコンピュータシステムとして基本設計したものであり、CAM-Rという。

CAM-R [4] (Computer Assisted Design of Manufacturing System with Robots)は、昭和51年度(社)日本産業用ロボット工業会のCARE (Computer Assisted Robot System Engineering) 委員会のもとに基礎調査研究が実施され、新しい生産システム（環境の変化、対象の変化、目標・目的・条件の変化に対応できる柔軟性と生産性の高いシステム）への要請が高まり、生産システムの機械化、自動化の実現が産業用ロボットとその利用技術に期待されているが、ロボットを含む生産システムの設計に次の課題設定が現実となる。

(1) ロボットを含む生産システムの複合化、自

動化、安全化などによる複雑性解決。

- (2) ロボットを含む生産システムへの投資効果、設備最適化による生産性向上。
- (3) 高度なシステム・エンジニアリングの開発と普及促進。

3. CAM-Rの概要

前述の課題解決としてCAM-Rの適用がある。CAM-R 研究開発課題は次の3大期待成果に集約される。

- (1) ロボットメーカー、ユーザーのエンジニアリング業務の効率大幅向上
- (2) ロボットを含む生産システムによる生産性、経済性の飛躍的向上
- (3) ロボットの普及促進

この期待成果の具体的内容を次に示す。

[1] エンジニアリング業務の効率向上

- ① エンジニアリング業務手続の確立によって重複作業の工数損失が排除される。
- ② 確立されたロボット導入方法によりユーザー、メーカーの打合せ業務効率が向上する。
- ③ コンピュータの適切な解析と情報サービスの援助によって、設計業務が適確に遂行される。
- ④ システム・エンジニアリング業務、特にシステム設計のレベルが向上する。

[2] 生産システムの生産性、経済性の向上

- ① ロボット選択と決定が適切に行なわれる。
- ② ロボットを含む生産システムの事例を提供することにより、最適な方法で、最適な生産方式が検討できる。
- ③ 事前検討が十分に行なえることになり、稼働時のトラブル、メンテナンスが削減される。
- ④ 情報公開の原則にもとづき、ロボット技術、利用技術の適切な開発、研究が促進できる。

[3] ロボットの普及促進

- ① ロボット関連技術(設計、利用技術など)の提供によりロボットに対する信頼性が高まり普及促進ができる。

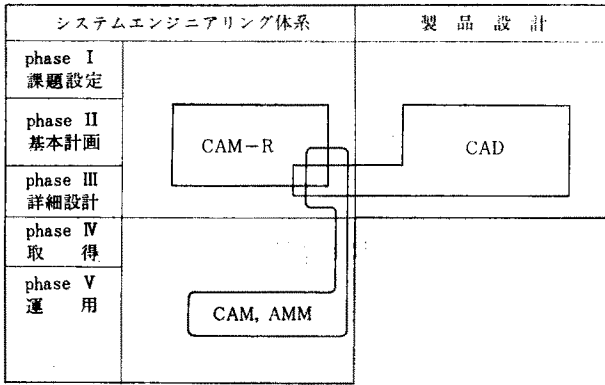


図 6 CAM-R と他のシステムとの領域図

- ②ロボット関連技術の広域公報活動ができる。
- ③情報・技術の集中管理が可能となり、大規模な最適研究開発の検討、実現が可能となる。

3.1 CAM-R システム構成

システムの基本概念をシステム・エンジニアリング体系において、機械工場を対象にした CAD/CAM と CAM-R の適用領域の概略図を図 6 に示す。この図では、CAM-R が詳細設計フェイズをも取り扱うようになるが、CAM-R システム構成では除外した。これは、機械工場の詳細設計の諸元は多数の不確実性と複雑性が相乗的にシステム設計理論や設計技術の確立を困難にしている現状と、それぞれシステムの固有性に対処する特殊技術が必要となることを検討した結果である。さて、CAM-R システム概念は、システム・エンジニアリング体系の課題設定と基本計画フェイズを基本構成要素としコンピュータシステムに展開する。その結果ソフトウェアパッケージ群が構築され、電子計算処理組織によって運用する 3 つのシステム構成要素をもってエンジニアリング業務を援助するものである。図 7 に示す CAM-R システム概念はシステム運用にまでおよんでいるが、CAM-R の具体的なソフトウェアパッケージ群はエンジニアリング体系の課題設計フェイズにニーズ・サーベイ、事例検索とロボットを含む生産システム評価基準の設定の機能を配し、基本計画フェイズには既存生産システム分析、システム構

成要素と仕様条件サーベイ、システムモデル・シミュレーション、情報検索、代替ロボット・機器の選択とシステム評価の機能を配する結果となった。

3.2 ソフトウェアパッケージ

初期のソフトウェアパッケージはシステム・エンジニアリング体系にもとづいて 10 パッケージを設定したが、コンピュータシステムに展開するにいたって、基本構想は 4 ソフトウェアパッケージにサブパッケージの概念を導入し、システム・エンジニアリング業務に

対するソフトウェアパッケージ・コンピュータシステムは次の 3 つの援助をする。

- (1) 情報提供による援助
- (2) 計算処理とデータ処理による援助
- (3) データ入出力機能による援助

3.3 ソフトウェアパッケージ群の構成

サブパッケージによって、ソフトウェアパッケージはその処理機能が補助されてシステム・エンジニアリング業務を援助することができる。サブパッケージは単一システムとしても利用できる。

また、ソフトウェアパッケージの主処理機能をモジュール化することにより、システムを階層構造として、ユーザーが CAM-R を利用目的に合わせて、容易に認識でき、情報の流れが簡単に把握できるように CAM-R システムは設計されている。この構想にもとづいたエンジニアリングとソフトウェアパッケージの対応を図 8 に示す。

すなわち、ソフトウェアパッケージ群を整理、統合して次の 4 ソフトウェアパッケージとサブパッケージで CAM-R コンピュータシステムを構築する。

- (1) ソフトウェアパッケージ
 - ①ニーズ・サーベイ
 - ②システム分析
 - ③システム設計
 - ④システム評価
- (2) サブパッケージ

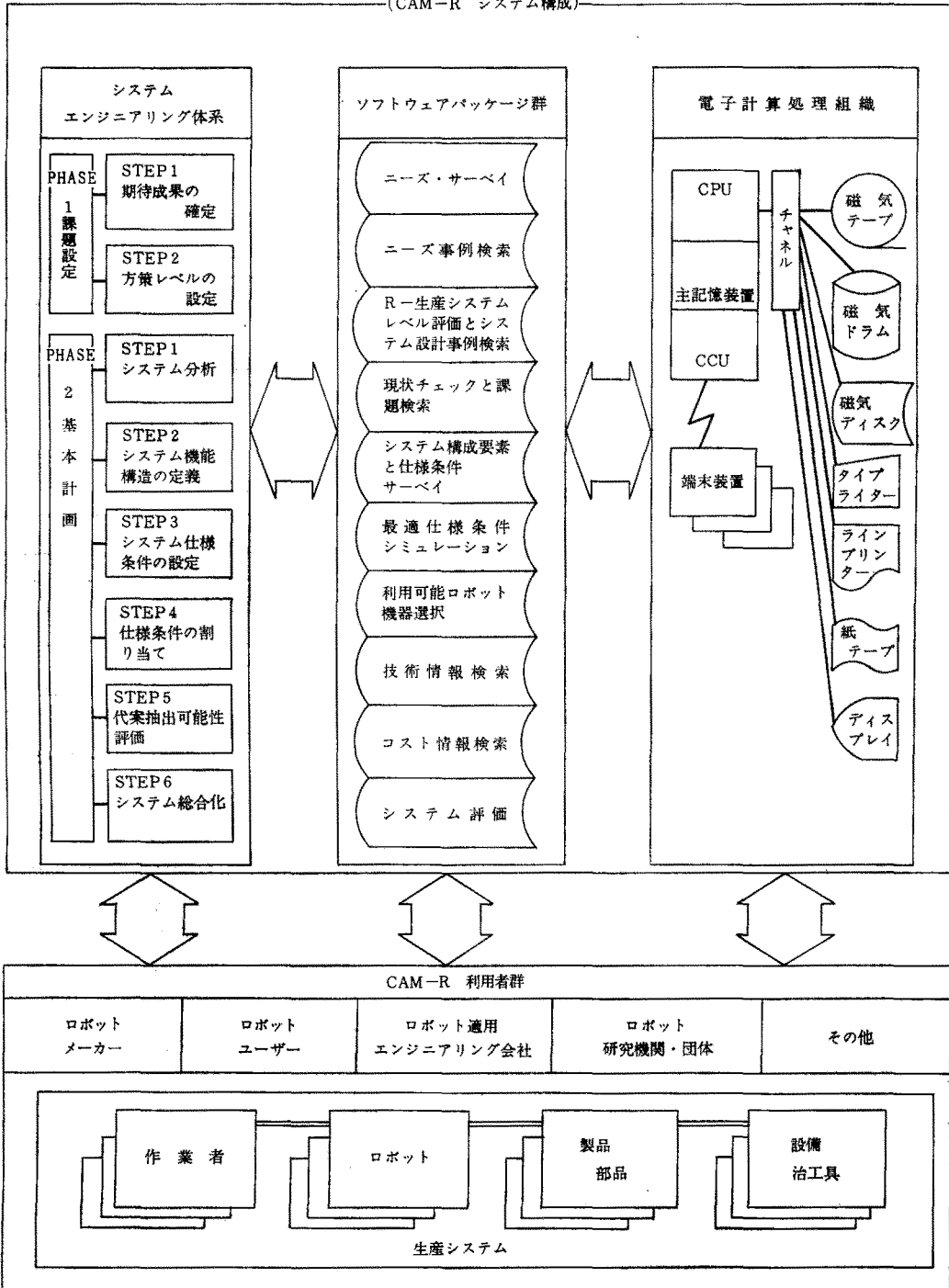
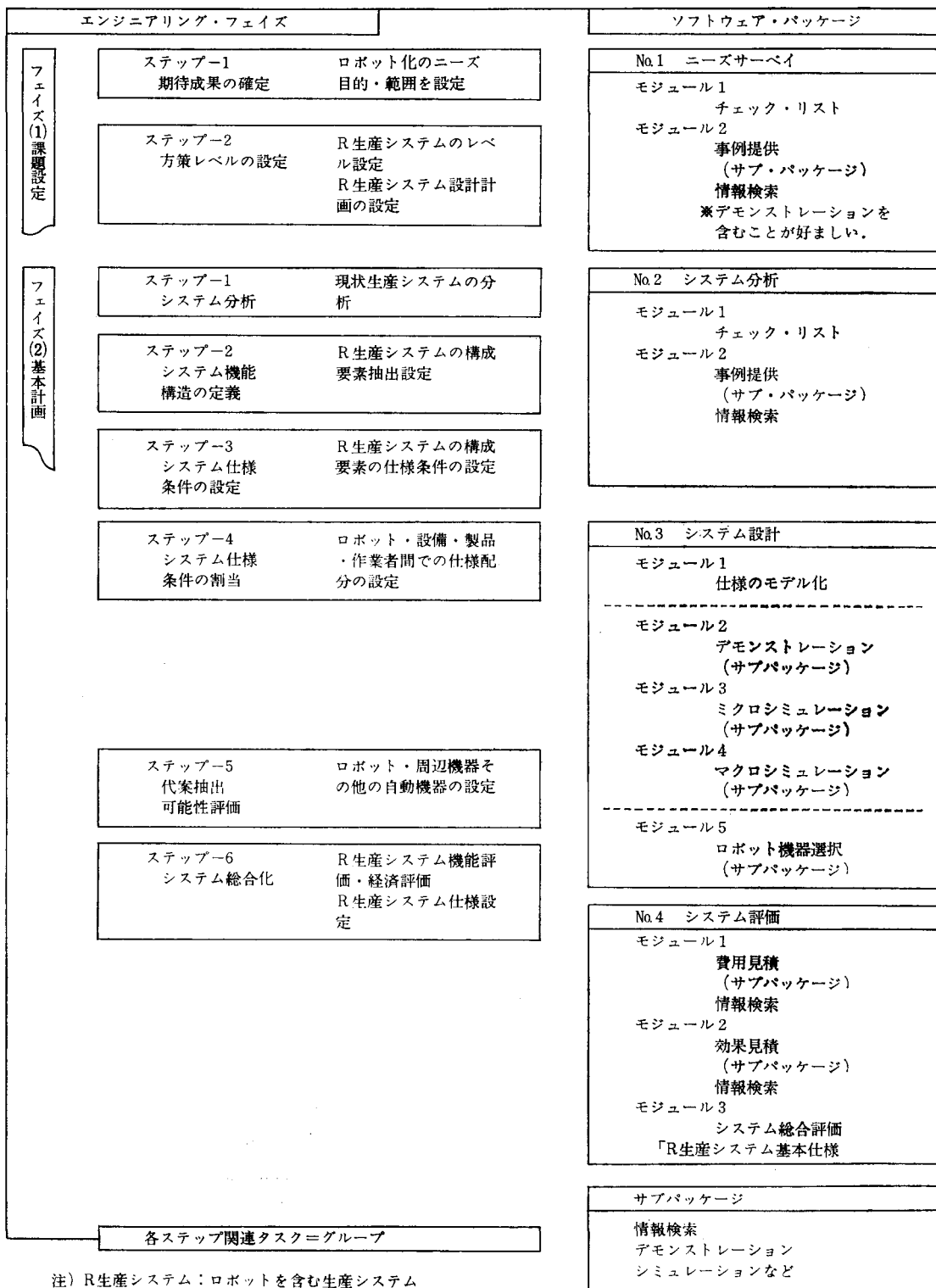


図 7 CAM-R のシステム概念図



注) R生産システム：ロボットを含む生産システム

図 8 エンジニアリング業務と CAM-R ソフトウェアパッケージ

- ①モデル設定
- ②情報管理
- ③ロボット・シミュレーション
- ④システム・シミュレーション

4. CAM-R コンピュータシステム

階層構造にしたコンピュータシステムは、前述の4ソフトウェアパッケージをエンジニア・プロセスとしてまとめ、サブパッケージをおのおの独立させ、分散処理のシステム形式とした(図9, 図10)。

4.1 ニーズ・サーベイ

「ロボット導入ニーズ発生」から「ロボットを含む生産システム導入プロジェクト計画設定」を作成することを目的とし、このソフトウェアパッケージは、学習と検討モジュールと事例提供モジュールを有し、課題設定のための検討チェックの専用リストファイル・データを保有している。また次のような機能がある。

- (1) ロボット導入に関する基礎知識の提供
- (2) ロボット導入事例提供
- (3) 課題設定項目のチェックリスト提供

4.2 システム分析

課題設定段階の計画をもとにして「ロボットを含む生産システムの仕様条件」の作成援助をする目的がある。事例提供、システム分析、仕様条件の編集と3モジュールがあり、分析項目・方法などのチェックリストファイルがある。図11にシステム分析機能構成を示す。

4.3 システム設計

仕様条件によりシステム構想を立案して、システム構成要素に仕様条件を割当てシステム仕様を決定する。その後、シミュレーションなどの検討により「最適仕様代案」を設定するものである。

具体的には、モデル設定、システム構想案、システム設計と代案抽出の4モジュールで構成され、次の機能がある。機能構成を図12に示す。

- (1) システムおよび構成要素のモデル化

- (2) デモンストレーション
- (3) シミュレーション
- (4) 代替システム構成要素の選択
- (5) システム基本仕様設定

4.4 システム評価

「システム基本仕様」を検討して「ロボットを含む生産システム基本計画」を作成するソフトウェアパッケージである。また、基本計画段階のまとめとして「システム総合化」を援助する機能が必要である。

- (1) システム概略見積
- (2) システム総合評価

この機能は評価準備、費用見積、効果見積、基本計画の4モジュールと評価項目チェックリストファイルで具体化される。図13に機能構成を示す。

4.5 サブパッケージ

共通機能としてCAM-R コンピュータシステムから分離独立できる単位であり、サブパッケージとしてフレキシビリティを重視し、システムを具体化するものである。このサブパッケージに要求される機能は情報検索、デモンストレーション、シミュレーション、データ変換とモデル化である。

CAM-R コンピュータシステムはメインプロセッサが主制御機能を有することは図9に示したが、このサブパッケージはメインプロセッサで制御される主体実行機能とソフトウェアパッケージにより制御される客体実行機能を有し、ユーザーの利用方法によって決定選択される。基本的サブパッケージには次のようなものが設定されている。

- (1) 情報管理
- (2) システム・シミュレーション
- (3) ロボット・シミュレーション
- (4) モデル設定

4.6 情報管理

CAM-R のすべての情報処理と情報管理をす

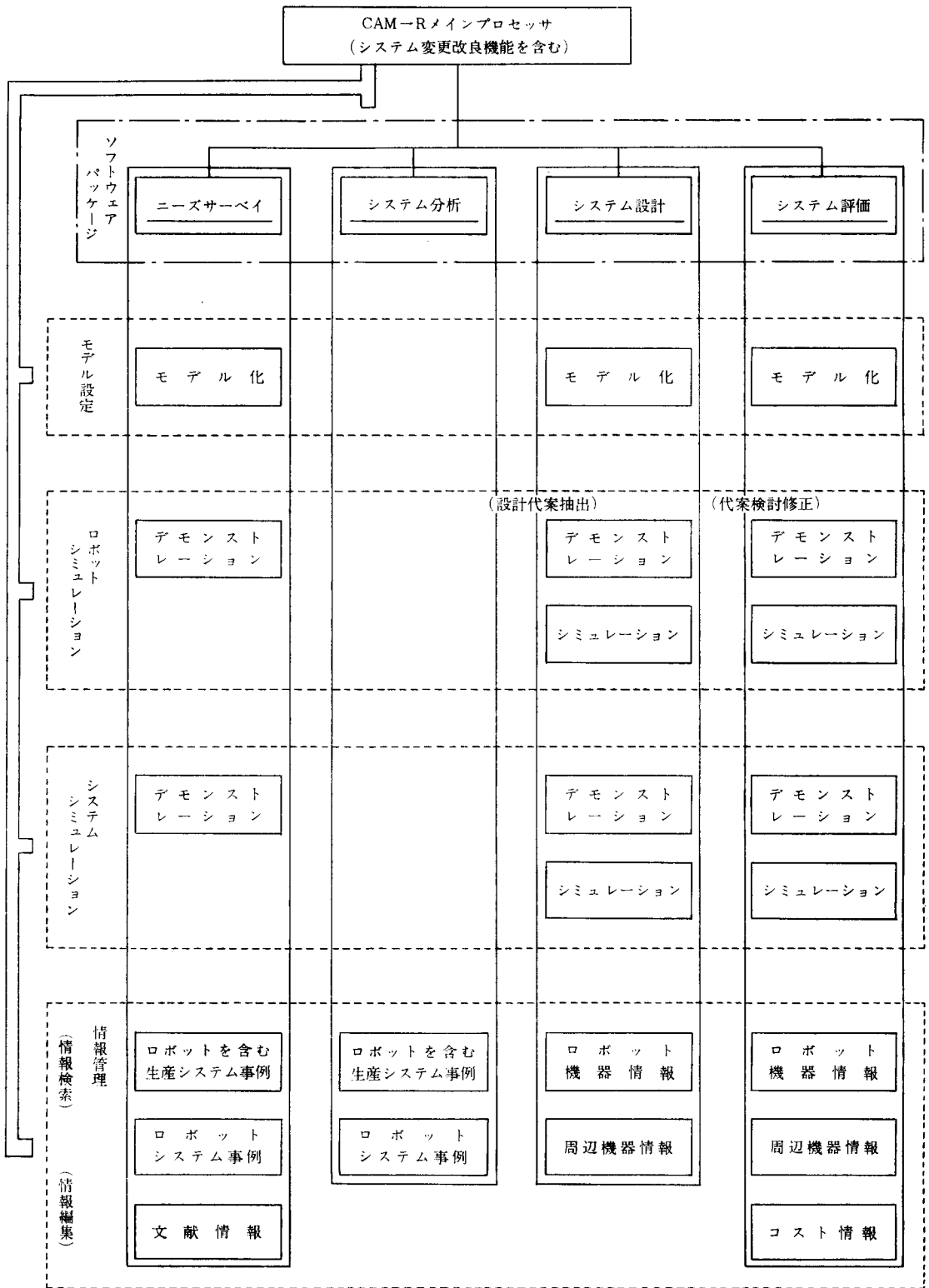


図 9 CAM-R コンピュータシステム(ソフトウェア)

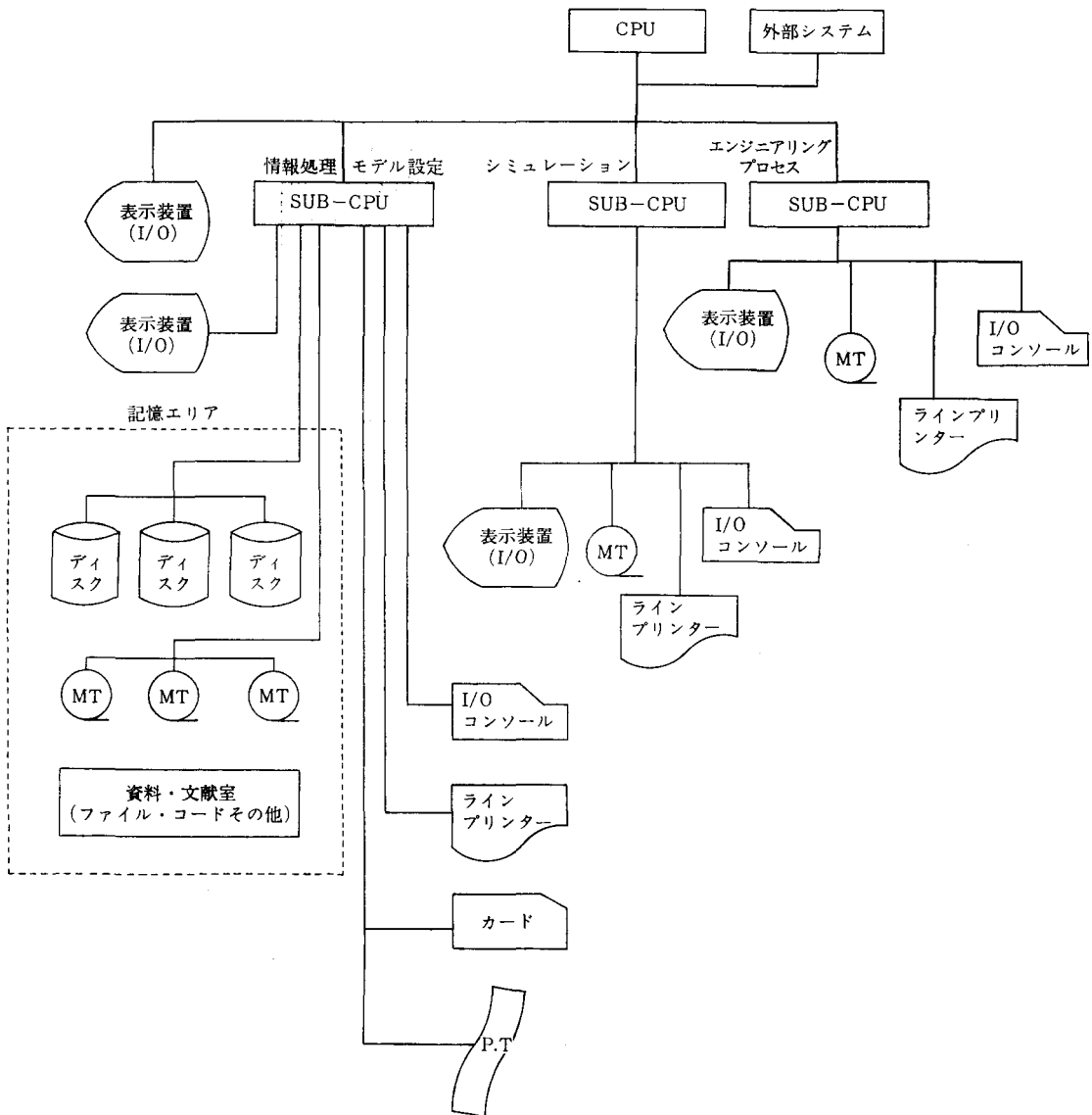


図 10 CAM-R コンピュータシステム (ハードウェア)

るものであり次のモジュールによって機能する。

- (1) 収集モジュール
- (2) 編集モジュール
- (3) 検索モジュール
- (4) 保存モジュール

4.7 システム・シミュレーション

生産システム計画案の効果、問題点などを定量的モデルによって最適解を求める現実に対する近似的手法である。多品種少量生産の自動化、多種多様作業の要請があり、フレキシビリティを核に

した生産システムの複雑性が激増し、システムの時間効率シミュレーションを生産能力として、配置シミュレーションは環境を主体として評価する2つのモジュールによって構成するサブパッケージの必要性に対応したものである。図14に配置シミュレーションの処理を示す。

4.8 ロボット・シミュレーション

生産システムの中でロボットが作業するためにロボット自体の性能と環境に対応する特性を検討することが必要である。この具体的なアプローチ

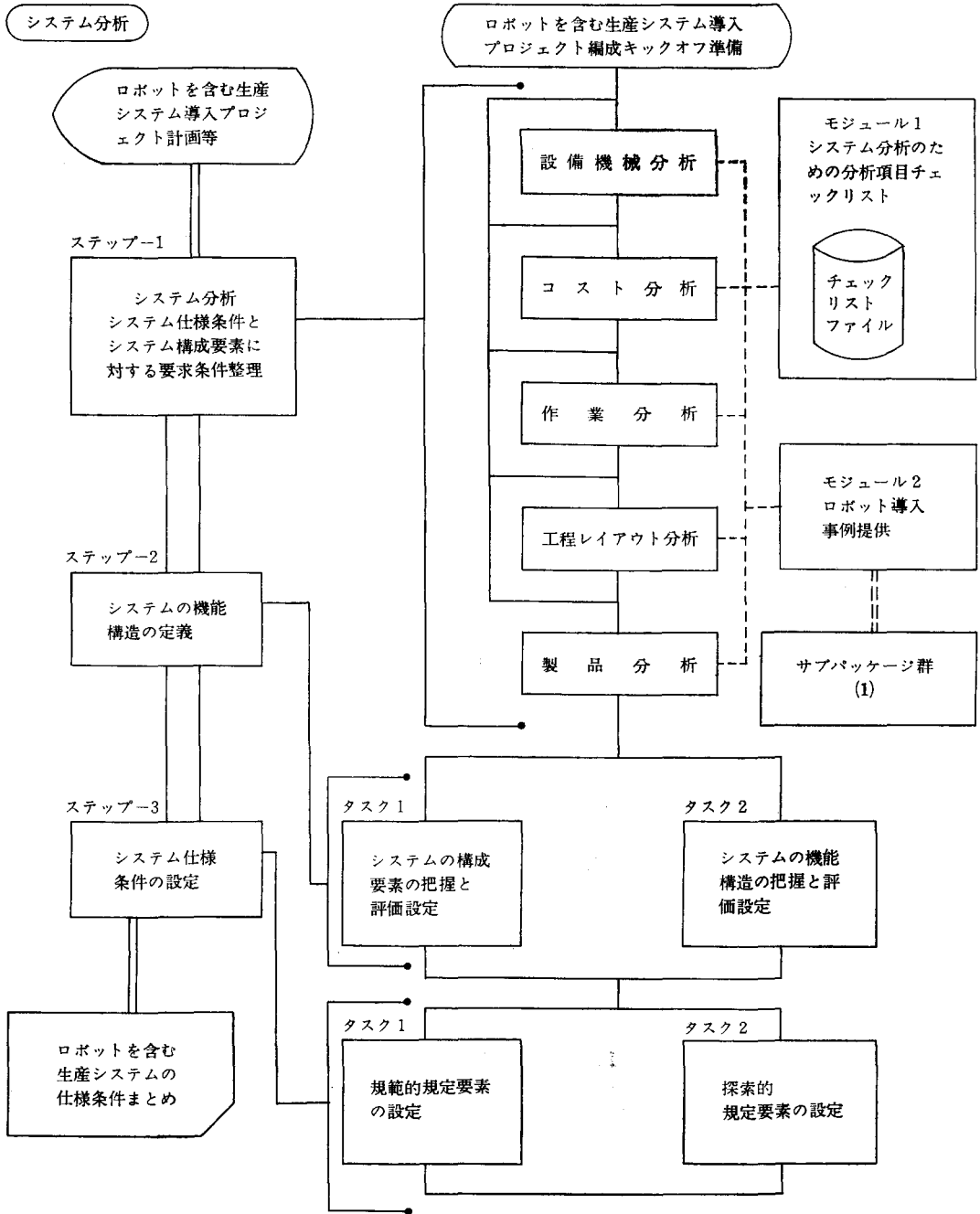


図 11 基本計画段階 I

がサブパッケージのデモンストレーションとシミュレーションであり、ここで対象とするものはロボット基本構造、駆動系、運動解析などを主体とする性能・特性である。モジュールは次のようになり、シミュレーションシステム構成を図15に示す。

- (1) 動作デモンストレーション
- (2) 性能・特性デモンストレーション
- (3) 機構学的解析
- (4) 静力学的解析

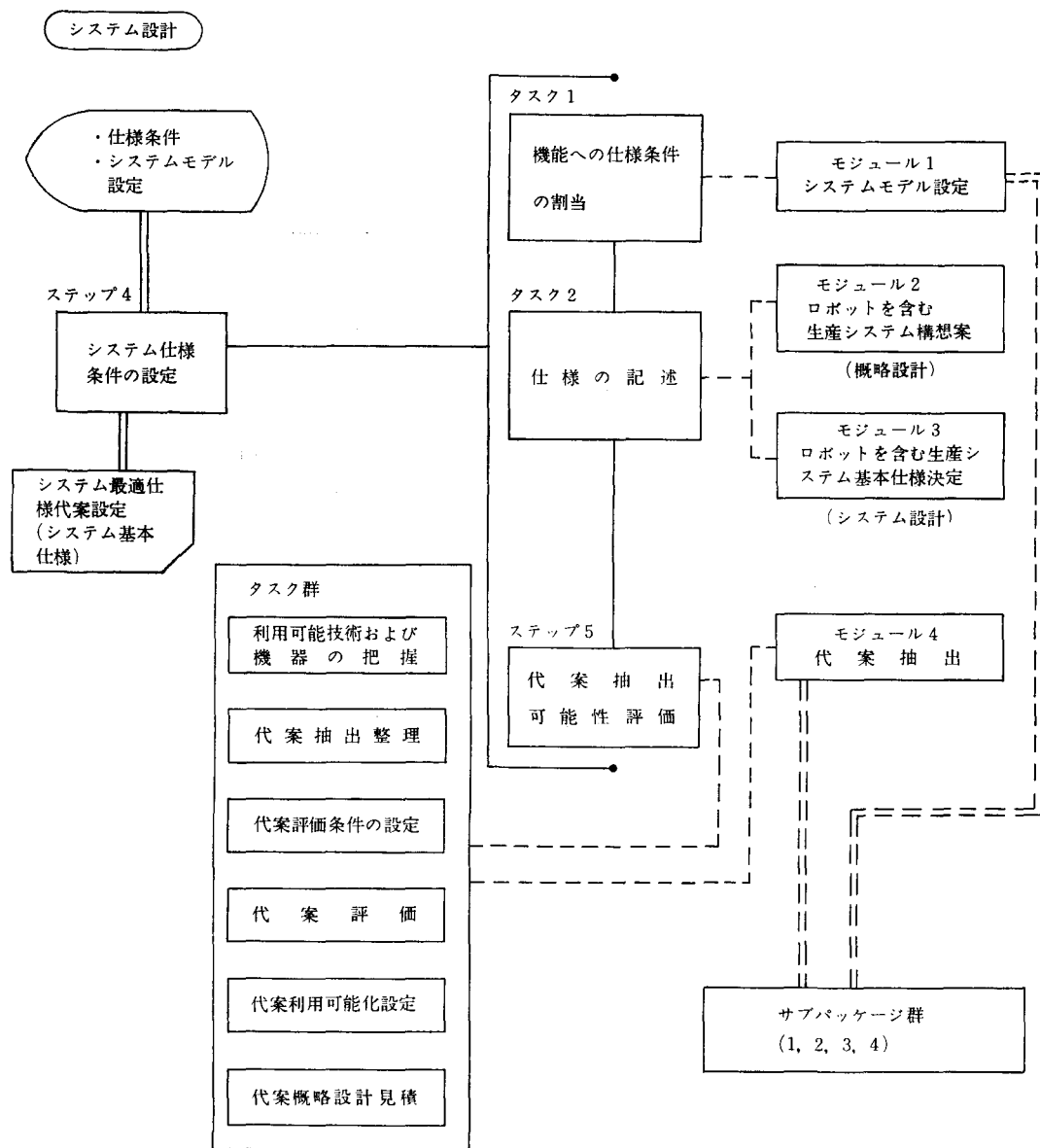


図 12 基本計画段階Ⅱ

(5) 動力的解析

(6) 制御解析

また、干渉シミュレーション例を図16に示す。

前述した CAM-M コンピュータシステムの一部をプロトタイプ形で作成したシミュレーションの基礎となるロボットの動作を川崎ユニメータピューマ(PUMA)をモデルにして実験した結果を図17.1から図17.7に示す。

このシミュレーションに入力する情報は図15に

示す基本構造、形状情報、動作情報、作業情報と静・動力学特性値の5種類を主体として、出力情報はロボットアーム動作諸特性をはじめ制御、振動特性など20種類を標準とし用意してある。

このシミュレーションシステムには、ロボット言語の必要性も認められ研究開発された。

5. あとがき

機械工場(生産システム)の自動化は進み、その

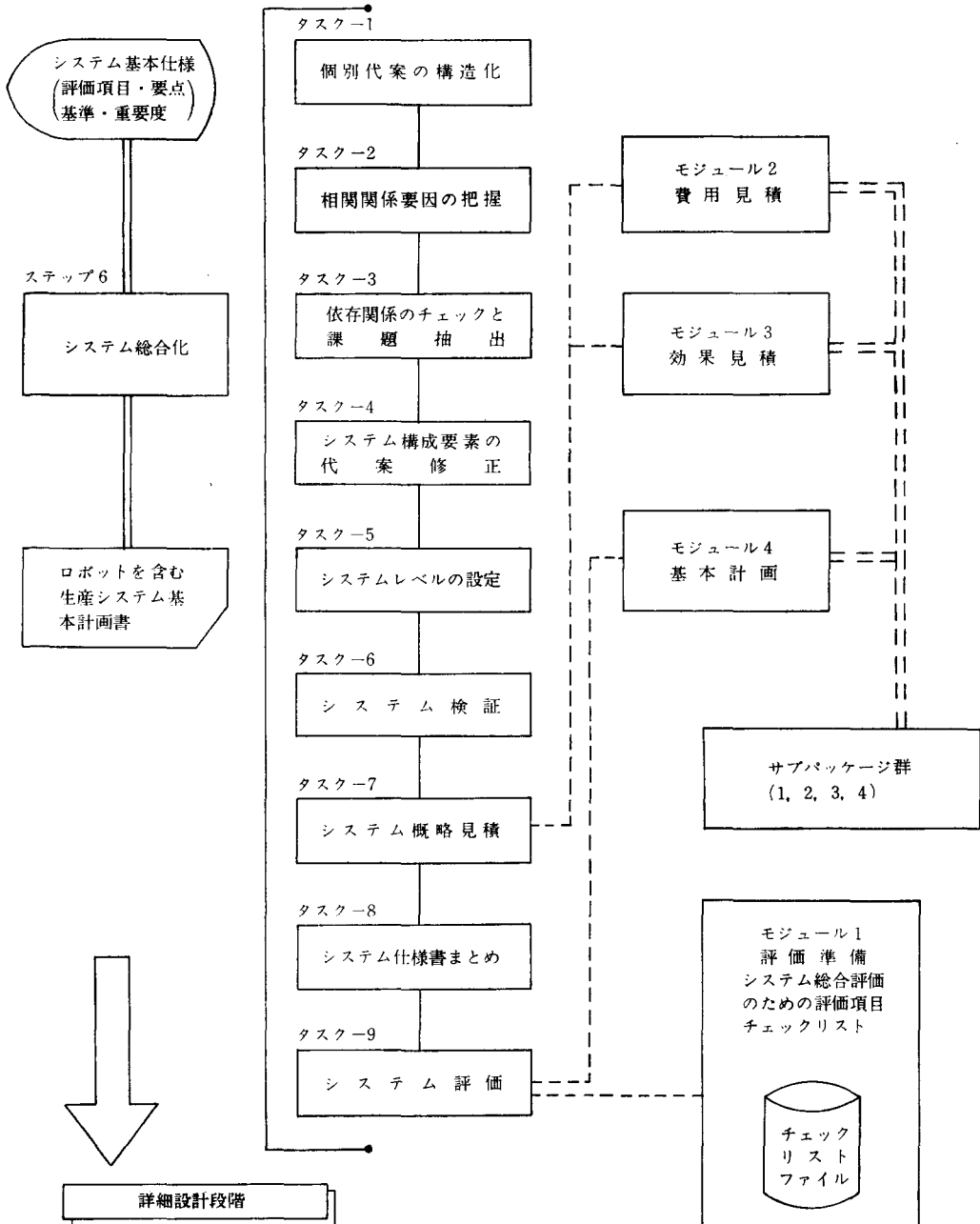


図 13 基本計画段階Ⅲ

システムは高度化し、構成要素は複雑な作業の実現が要請されている。前述したロボットシミュレーションに対する期待は複雑高度化作業の制御と実行を確立することである。シミュレーションは

その系に含まれる構造、特性・性能などによるモデル創成を入力情報によって可能にする。しかし知能ロボットの発達、ロボットの高性能、高度化によって入力情報も複雑になり、システム、構成

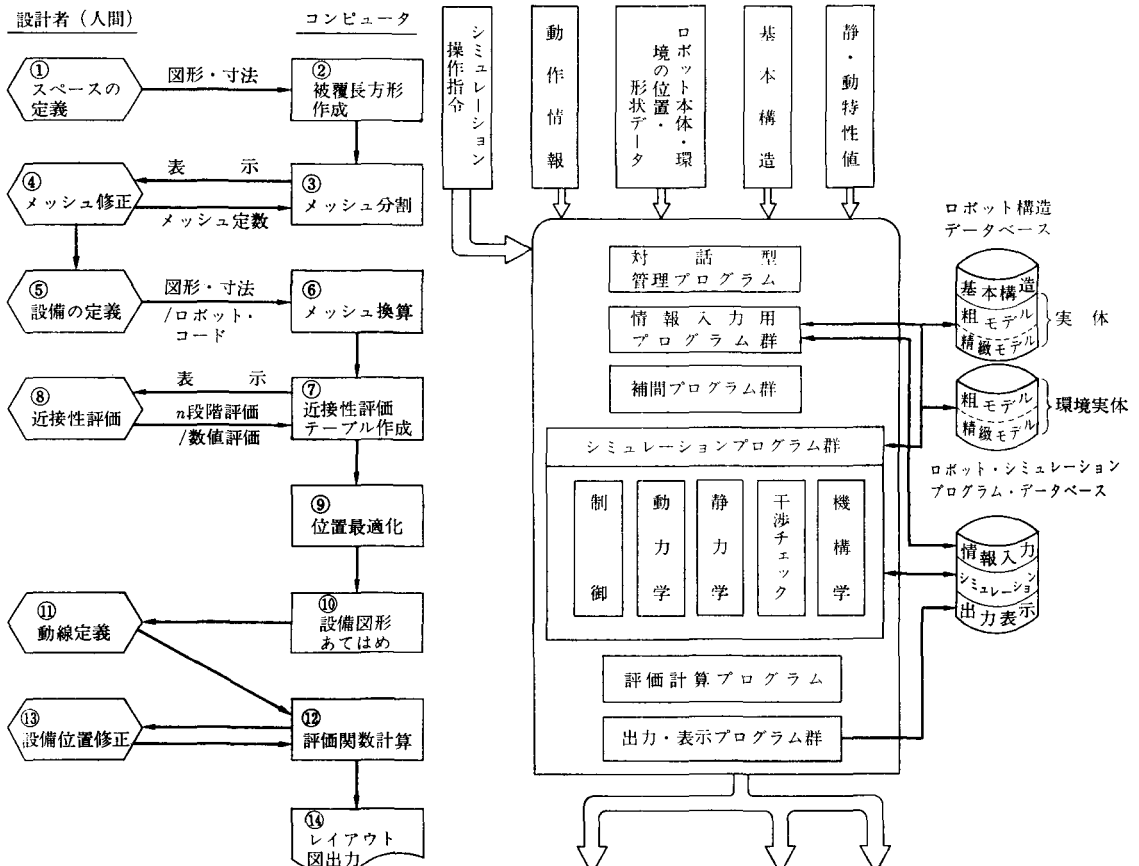


図 14 配置シミュレーションの処理の流れ

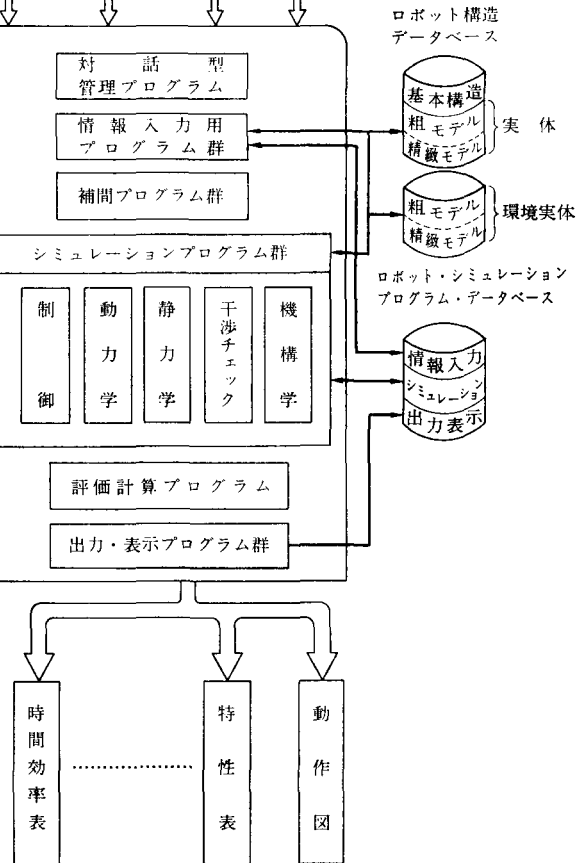


図 15 シミュレーションシステムの構成

要素のモデル化は困難になる。現状でのモデル化の方法にはCADによる形状モデルの作成やコンピュータ言語やNC言語、最近話題のロボット言語による形状表現力を使うモデル化がある。

一方、モデル化不用ということも考えられないこともない。アドリブができる人間的ロボットの登場が実現すれば、その時々作業内容と作業対象そして作業環境などを含む作業空間を判断することになり、シミュレーションもシステム設計もシステム・エンジニアリングもロボットのためにのみ有効になる事態となろう。しかし、知能ロ

ボットといえども機械的ロボットであるかぎり、システム・エンジニアリング不用論は残念ながら無用である。そこで、管理工学に代表されるOR, IE, SEは、機械工場のロボット化技術、特にシステム設計には不可欠な手法であり、CAM-Rシステムの目的とするロボット化技術の発展と前述の3大期待成果の実現には有力なものとなろう。

CAM-Rの管理工学における位置づけとCAM-Rの概要について述べたが不備な点が多く、機会があれば、ロボット・ソフトウェア技術という

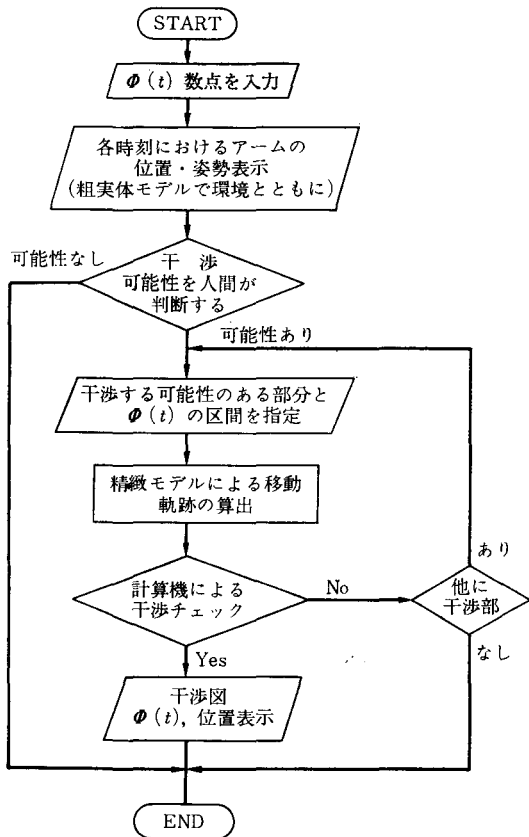


図 16 アームと環境の干渉チェックのフローチャート

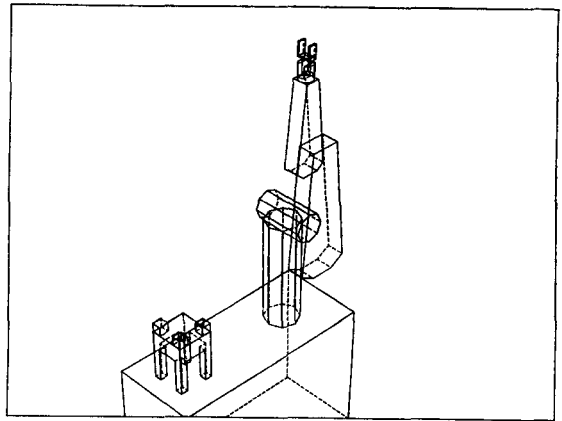


図 17.1 各関節角すべて 0 の状態

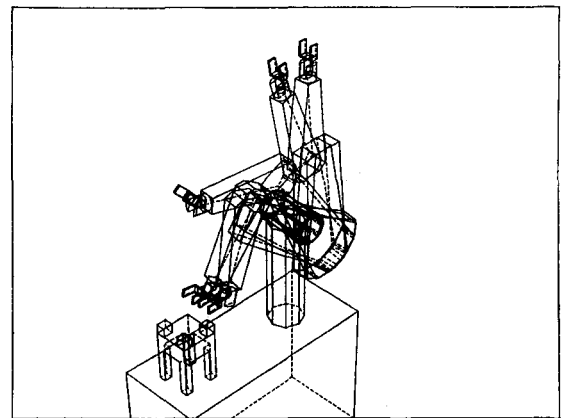


図 17.2 初期状態からアプローチポイントへの PTP 動作

ことで CAM-R とその周辺の技術を紹介したい。なお、CAM-R は(社)日本産業用ロボット工業会の CAM-R 分科会(分科会長: 東京大学 佐田教授)で調査研究したものである。

最後に表 1 ロボットを含む生産システム基本仕様評価因子の概要を提案するが、システム評価の

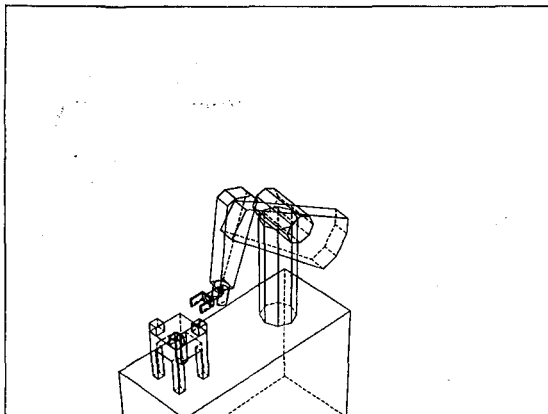


図 17.3 アプローチポイントでの状態

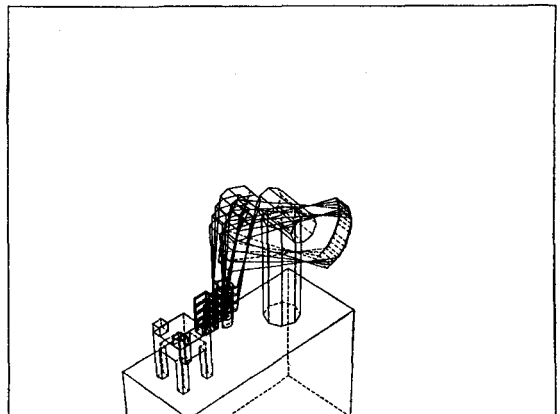


図 17.4 ブロックを把握する準備動作(直線動作)

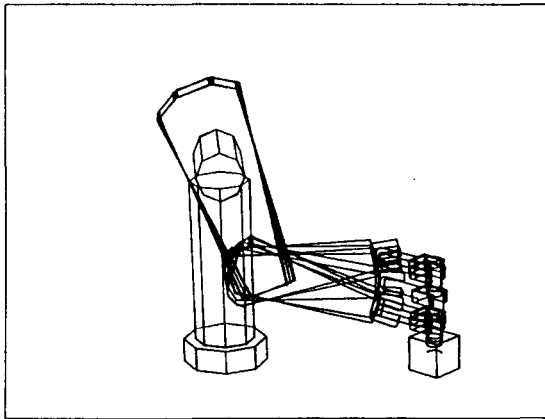


図 17.5 穴にシリンダーを挿入する動作

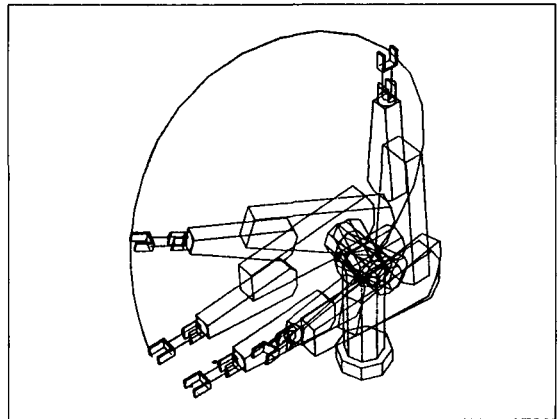


図 17.6 関節角補間によるC P動作

表 1 ロボットを含む生産システム基本仕様評価因子の概要

① ロボット導入の狙い	
<ul style="list-style-type: none"> • 社会的要請 • 消費者動向 • 技術動向 	<ul style="list-style-type: none"> • 労働者動向 • 経営環境動向
② 生産システム設計レベル	
<ul style="list-style-type: none"> • 長期的視野 • システム規模 	<ul style="list-style-type: none"> • 短期的視野
③ 評価方法	
<ul style="list-style-type: none"> • 評価の狙い • 評価の時期 	<ul style="list-style-type: none"> • 評価の対象

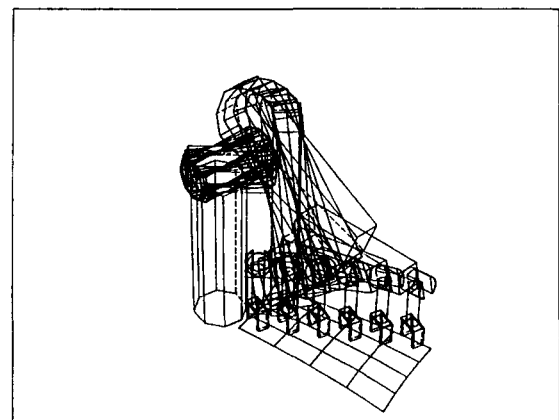


図 17.7 自動曲面のオフセット動作

曖昧さは、システム設計ばかりではなくシステム構成要素から経営理念にまで影響をおよぼす不確実性を持ち、何らかの解決方法をみる必要がある。オペレーションズ・リサーチにより生産システム評価の曖昧さが定量化され、システム・エンジニアに対する御支援を心から期待する。

参 考 文 献

- [1] 水野幸男：マネジメント・サイエンスとコンピュータ。コンピュータ・サイエンス・シリーズ，産業図書，1970
- [2] 赤 撰也，茂木 勇，村田 全：数理学の諸問題。数学講座。筑摩書房，1971
- [3] 遠藤健児：管理者のノウ・ハウ困らない考え方，現代工学社，1976

- [4] (社)日本機械工業連合会，(社)日本産業用ロボット工業会：CAM-R 作成のための基礎研究，第4報，1980，118-272

次 号 予 告

- | | |
|------------------------|-------|
| トップの視点 裏のOR | 小野 勝次 |
| 特集 プレゼンテーションのOR | |
| 名講義物語り | 近藤 次郎 |
| PDPCのすすめ | 近藤 次郎 |
| 説得の技術 | 唐津 一 |
| NHK特集「日本の条件」のめざすもの | 岩下 恒夫 |
| 連載講座 | |
| APLとOR (3) | |
| ファイル構造と検索，予測プログラム | |
| 三枝協亮・松田寿子 | |